

■ Hält nicht, gibt's nicht

Ob in Haushalt oder Industrie, es wird geklebt, was das Zeug hält. Pro Jahr verkleben allein die Deutschen 500 000 Tonnen Klebstoff. Doch welche Physik regiert die Klebestelle?

Sei es die zerbrochene Liebblingstasse, eine Briefmarke, das Holzregal oder moderne Automobile: geklebt wird überall. Schon unsere Ahnen fixierten zur Jagd ihre Speerspitzen mit Baumharz, und vor 5000 Jahren leimten die Sumerer bereits Holz – ihren Ur-Leim kochten sie aus Tierhäuten. Mit der Entwicklung der synthetischen Kleber begann im 20. Jahrhundert schließlich der Aufstieg der Klebstoffindustrie.

Kleben ist ein komplexer Vorgang, der neben chemischen Reaktionen auch zahlreiche physikalische Prozesse beinhaltet. Obwohl es für das Abbinden – so heißt das Aushärten des Klebstoffs im Jargon – noch keine umfassende Theorie gibt, sind die grundlegenden Prinzipien bekannt. Amtlich beschreibt es die DIN 16920: Bei Klebstoffen handelt es sich danach um nicht-metallische, plastische, flüssige oder feste Werkstoffe, die feste Füge­teile durch Oberflächenhaftung, also Adhäsion, und innere Festigkeit, sprich Kohäsion, verbinden. Während die Adhäsion hauptsächlich zwischen dem Klebstoff und den zu verklebenden Oberflächen wirkt, sind die Kohäsionskräfte für die innere Stabilität und Festigkeit des Klebers verantwortlich.

Adhäsionskräfte sind zwischenmolekulare Anziehungskräfte sehr geringer Reichweite. Sie wirken also zwischen den Atomen und Molekülen zweier Materialien, die sich durchaus auch chemisch unterscheiden können. Adhäsion wird jedoch erst bei hinreichender Annäherung wirksam, ein typischer Abstand beträgt etwa ein Mikro-



Volkswagen AG

Bis zu 18 Kilogramm Klebstoff werden in einem modernen Automobil verarbeitet. Hier kleben Monteure die Frontscheibe in eine Autokarosserie.

meter. Da Oberflächen aber im Allgemeinen auf mikroskopischer Skala sehr rau sind, ist die Distanz der Moleküle oder Atome für hinreichende Adhäsionskräfte zwischen den Oberflächen zu groß. Letztere berühren sich folglich nur punktuell – in punkto Haftung heißt das dann allerdings: Fehlanzeige.

Warum klebt es?

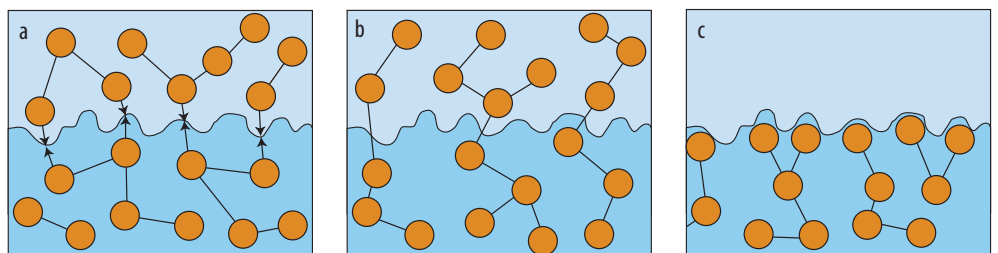
Hier kommt nun der meist flüssige Klebstoff ins Spiel: Wird er auf eine Oberfläche aufgetragen, so benetzt er diese als Folge der Adhäsion, fließt in die Lücken und verschließt diese. Dadurch wird nicht nur die Oberfläche ausgeglichen, es bilden sich auch zwischen Klebstoff und der Oberfläche zahlreiche Haftpunkte. Je mehr sich davon ausbilden, umso besser ist die Oberflächenhaftung des Klebers. Jeder kennt dies von feuchtem Papier, das an einer Glasscheibe klebt. Das Wasser ermöglicht dabei den voll-

ständigen Kontakt zwischen beiden Oberflächen.

Bei der eigentlichen Haftung des Klebstoffs an der Oberfläche spielt einerseits die Adhäsion eine Rolle. Sie geht auf elektrostatische Kräfte wie Wasserstoffbrückenbindungen und Van-der-Waals-Kräfte zurück. Bei porösen Materialien wie Holz ist vor allem eine mechanische Adhäsion wichtig: Der Kleber diffundiert in die Oberfläche, wo sich seine langen Kettenmoleküle fest in den Poren verhaken. Neben solchen physikalischen Phänomenen spielen andererseits auch chemische Bindungen beim Kleben ihre Rolle. Der Klebstoff reagiert dabei mit der Oberfläche des zu verklebenden Stückes – die Grundlage für die gewünschte Haftung.

Die bereits erwähnte Verklebung von Papier und Glasscheibe mittels „Wasser-Klebstoff“ wirft ein Problem auf: Da Wasser bei Raumtemperatur nicht verfestigt, sondern

Klebstoffe nutzen, je nach Anwendungsbereich und zu klebenden Materialien, unterschiedliche Mechanismen: Sie können entweder physikalisch (a), in einer chemischen Reaktion (b) oder durch mechanische Adhäsion (c) mit der Oberfläche wechselwirken.



vielmehr mit der Zeit verdunstet, ist die Verbindung zwischen Papier und Wasser nur von kurzer Dauer. Trotzdem kann aber auch Wasser einen guten Kleber abgeben. Das wird vor allem im Winter klar, wenn z. B. festgefrorene Werbeflyer die Windschutzscheibe verunstalten. Oft ist die unerwünschte Werbebotschaft erst mit heißem Wasser loszueisen. Immerhin lernen wir daraus: Der vermittelnde Klebstoff muss in sich stabil sein und aushärten, nur so werden zwei Oberflächen fest und dauerhaft verbunden.

Kleber sind eine Mixtur aus Härtern und Konservierungstoffen, dazu kommen Wirkstoffe für Licht- und Alterungsschutz. Die entscheidende Komponente sind jedoch die eigentlichen Klebstoffe. Das können natürliche oder synthetische Substanzen aus langkettigen und verzweigten Makromolekülen sein, die zahlreiche polare funktionelle Gruppen besitzen. Ähnlich wie die Äste eines Baumes greifen diese ineinander und werden durch die Kohäsionskräfte, die zwischen chemisch gleichartigen Molekülen wirken, zusammen gehalten. Diese Kräfte sind also verantwortlich für die innere Festigkeit des Klebstoffs. Beeinflusst wird die Festigkeit eines Klebers unter anderem durch sein Molekulargewicht und die Zahl und Polarität der Seitengruppen. Da eine hohe Kohäsion in den

meisten Fällen mit einer geringeren Adhäsion einhergeht, muss bei diesem Kräftespiel ein Kompromiss gefunden werden. Denn einerseits soll der Klebstoff gut an der Oberfläche haften, andererseits muss eine ausreichende Festigkeit der Klebestelle die notwendige Belastbarkeit gewährleisten.¹⁾

Chemie versus Physik

Beim Abbinden scheiden sich schließlich die Disziplinen: Man unterscheidet zwischen chemischen und physikalischen Klebstoffen. Zu den chemisch abbindenden Reaktionsklebern gehören z. B. die Zweikomponentenkleber, bei denen erst durch Mischen zweier Substanzen der eigentliche Klebstoff entsteht. Das Aushärten bewirkt der Luftsauerstoff oder die Luftfeuchte. In einer chemischen Reaktion vernetzen sich die Moleküle der beiden Komponenten zu einem hochfesten Klebstoff.

Anders die physikalisch abbindenden Kleber: Sie bestehen zu einem Großteil aus Lösungsmitteln. Dabei handelt es sich entweder um organische Chemikalien, wie bei den Allesklebern, oder, wie bei den Klebestiften, schlicht um Wasser. In beiden Fällen schwimmen im Lösungsmittel die den Klebeprozess auslösenden Makromoleküle. Das sind bei Allesklebern z. B. Polyvinylacetat-Moleküle. Verdunstet das Lösungsmittel, so gehen die Makro-

moleküle durch den fortschreitenden Flüssigkeitsverlust immer mehr auf Tuchfühlung und haften schließlich durch die zwischen ihnen wirkenden Kohäsionskräfte. Je mehr der Klebstoff durch die Verdunstung aushärtet, desto stärker wirken Adhäsion und Kohäsion und umso besser klebt der Klebstoff.²⁾

Rund 20 000 verschiedene Kleber verdrängen heutzutage besonders in der Industrie immer mehr althergebrachte Techniken wie Schrauben, Nieten, Löten oder Schweißen. So auch im Automobilbau: Nicht nur Front- und Heckscheiben, Bremsbeläge oder Innenverkleidungen werden per Kleber fixiert, sondern auch Motorteile, die starke Schwingungen und Hitze aushalten müssen. Durch Klebeverbindungen werden Autos nicht nur leichter, sondern auch leiser, denn die Klebestellen schlucken einen Teil der Fahrgeräusche. Das Crashverhalten kann man sogar gleich mit optimieren, indem man in die Klebstoffe, die Metallstrukturen der Karosserie verbinden, Gummipartikel einlagert. Im Falle eines Aufpralls wirken diese als Puffer und verhindern das vollständige Aufreißen der Klebung. Da gleichzeitig elastische Klebeverbindungen Verformungen besser widerstehen als spröde Schweißnähte, versteift sich die Karosserie und dämpft den Aufprall – zum Wohl der Insassen!

Katja Bammel

1) Der beste Klebstoff nützt allerdings nichts, wenn die Oberflächen vor dem Auftragen nicht gereinigt werden: Fett- und Staubfreiheit sind beim Kleben oberstes Gebot.

2) Anschaulich beschreiben lässt sich dieses Kräftespiel am Beispiel Wasser/Glas. Während Wasser, bedingt durch Adhäsion, eine Glasoberfläche benetzt, kann es sich durch die größeren Kohäsionskräfte zu einem Tropfen zusammenziehen.